

Docket No.: 57810-032

PATENT

29  
jc971 U.S. PTO  
10/001180  
02/25/02

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of :  
Masayuki HATA, et al. :  
Serial No.: : Group Art Unit:  
Filed: February 25, 2002 : Examiner:  
For: NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR ELEMENT AND METHOD OF FORMING  
NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231

Sir:

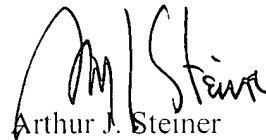
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2001-051348, filed February 27, 2001**

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY



Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:prp  
**Date: February 25, 2002**  
Facsimile: (202) 756-8087

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

57810-032  
Hata et al.  
February 25, 2002  
Ma Dermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 2月27日

出願番号

Application Number:

特願2001-051348

[ST.10/C]:

[JP2001-051348]

出願人

Applicant(s):

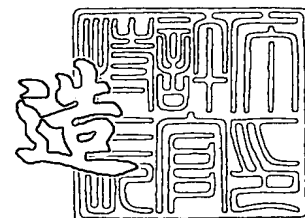
三洋電機株式会社

1c971 U.S. PRO  
10/081180  
02/25/02

2002年 2月 5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3004753

【書類名】 特許願

【整理番号】 NBA1011002

【提出日】 平成13年 2月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号  
                        三洋電機株式会社内

    【氏名】 畑 雅幸

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号  
                        三洋電機株式会社内

    【氏名】 國里 竜也

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号  
                        三洋電機株式会社内

    【氏名】 林 伸彦

【特許出願人】

    【識別番号】 000001889

    【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

    【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

    【識別番号】 100104433

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 宮園 博一

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 073613

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001887

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 凹凸形状の表面を有する基板と、  
前記基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するように形成されたマスク層と、  
前記基板の凹部上および前記マスク層上に形成された第 1 窒化物系半導体層と

、  
前記第 1 窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えた、窒化物系半導体素子。

【請求項 2】 前記基板は、サファイア基板、スピネル基板、S i 基板、S i C 基板、G a N 基板、G a A s 基板、G a P 基板、I n P 基板および水晶基板からなるグループより選択される 1 つの基板を含む、請求項 1 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 3】 前記基板の凹部と前記第 1 窒化物系半導体層との界面に形成されたバッファ層をさらに備える、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 4】 基板上に形成され、凹凸形状の表面を有する窒化物系半導体からなる下地層と、

前記下地層の凹凸形状の凸部上のみに接触するように形成されたマスク層と、  
前記下地層の凹部上および前記マスク層上に形成された第 1 窒化物系半導体層と、

前記第 1 窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えた、窒化物系半導体素子。

【請求項 5】 前記基板と前記下地層との間に形成されたバッファ層をさらに備える、請求項 4 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 6】 前記基板は、サファイア基板、スピネル基板、S i 基板、S i C 基板、G a A s 基板、G a P 基板、I n P 基板および水晶基板からなるグループより選択される 1 つの基板を含む、請求項 4 または 5 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 7】 基板の表面に凹凸形状を形成する工程と、

前記基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するように、マスク層を形成する工程と、

前記マスク層をマスクとして、前記基板の凹部上および前記マスク層上に第 1 窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 8】 前記第 1 窒化物系半導体層を成長させる工程に先立って、前記基板の凹部上にバッファ層を形成する工程をさらに備える、請求項 7 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 9】 基板上に窒化物系半導体からなる下地層を形成する工程と、

前記下地層の表面に凹凸形状を形成する工程と、

前記下地層の凹凸形状の凸部上のみに接触するように、マスク層を形成する工程と、

前記マスク層をマスクとして、前記下地層の凹部上および前記マスク層上に第 1 窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 10】 前記窒化物系半導体からなる下地層を形成する工程に先立って、前記基板上にバッファ層を形成する工程をさらに備える、請求項 9 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 11】 前記第 1 窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える、請求項 7 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関し、より特定的には、選択横方向成長を用いて形成した窒化物系半導体層を含む窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、発光ダイオード素子および半導体レーザ素子などの半導体発光素子やト

ランジスタなどの電子素子に用いられる半導体素子として、III族窒化物系半導体を利用した窒化物系半導体素子の開発が盛んに行われている。このような窒化物系半導体素子の製造の際には、サファイアなどからなる基板上に、窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させている。

## 【0003】

この場合、サファイアなどの基板と窒化物系半導体層とでは、格子定数が異なるため、サファイアなどの基板上に成長させた窒化物系半導体層では、基板から上下方向に延びる転位（格子欠陥）が存在している。このような窒化物系半導体層における転位は、半導体素子の素子特性の劣化および信頼性の低下を招く。

## 【0004】

そこで、上記のような窒化物系半導体層における転位を低減する方法として、従来、選択横方向成長が提案されている。この選択横方向成長については、たとえば、International Workshop on Nitride Semiconductors-IWN2000-, Nagoya, Japan, 2000, p. 79などに開示されている。

## 【0005】

図29～図33は、従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。次に、図29～図33を参照して、従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法について説明する。

## 【0006】

まず、図29に示すように、サファイアまたはSiCなどからなる基板101上に、下地となるGaN層102を形成する。次に、GaN層102上の所定領域に、マスク層103を形成する。

## 【0007】

次に、マスク層103をマスクとして、マスク層103が形成されていない領域下の部分のGaN層102をエッチングにより除去するとともに、基板101を基板101の底面に達しない範囲の厚み分だけエッチングする。これにより、図30に示すように、基板101を凹凸形状に形成するとともに、基板101の凸部の上面のほぼ全面に接触するようにパターニングされたGaN層102を形

成する。

#### 【0008】

次に、図31に示すように、Ga N層102の露出した側面を種結晶として、アンドープGa N層104の再成長を行う。初期段階では、アンドープGa N層104は、横方向に成長する。図31に示す状態からさらに成長が進むと、図32に示すように、アンドープGa N層104は、上方に成長するとともに、マスク層103上を横方向に成長する。このとき、アンドープGa N層104と、基板101の凹部の底面との間には、空洞部105が形成されている。そして、マスク層103上を横方向成長したアンドープGa N層104が合体して、連続的なアンドープGa N層104が形成される。これにより、図33に示すように、表面が平坦化されたアンドープGa N層104が形成される。

#### 【0009】

上記のように、従来の窒化物系半導体の形成方法では、Ga N層102の露出した側面を種結晶として、アンドープGa N層104を選択横方向成長によって形成することにより、Ga N層102の格子欠陥は、アンドープGa N層104の表面付近には伝搬されない。これにより、転位密度の低減されたアンドープGa N層104が得られる。このような転位密度が低減されたアンドープGa N層104上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層（図示せず）を形成すれば、良好な結晶性を有する窒化物系半導体素子を形成することができる。

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記した従来の選択横方向成長を用いる窒化物系半導体の形成方法では、マスク層103が形成されていない領域下の部分のGa N層102を、エッチングにより除去した後、さらに、基板101をエッチングすることにより、基板101に凹凸形状を形成していた。このため、従来では、エッチングされにくい窒化物系半導体層であるGa N層102をその厚み全体にわたってエッチングするとともに、基板101の表面もエッチングする必要があった。それによって、基板101に凹凸形状を形成する際のエッチング時間が長くなるという不都合が生じる。その結果、窒化物系半導体の量産性が低下するという問題点が



あった。

【 0 0 1 1 】

また、上記した従来の選択横方向成長を用いる窒化物系半導体の形成方法では、基板 1 0 1 上に、下地となる Ga N 層 1 0 2 を成長させた後に、Ga N 層 1 0 2 を選択横方向成長させることによって、アンドープ Ga N 層 1 0 4 を形成していた。このため、従来では、Ga N 層 1 0 2 およびアンドープ Ga N 層 1 0 4 の 2 回の結晶成長工程が必要であった。従来では、この点でも、窒化物系半導体の量産性が低下するという問題点があった。

【 0 0 1 2 】

この発明の 1 つの目的は、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供することである。

【 0 0 1 3 】

この発明のもう 1 つの目的は、量産性に優れ、かつ、低転位密度の窒化物系半導体層を得ることが可能な窒化物系半導体の形成方法を提供することである。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

この発明の第 1 の局面による窒化物系半導体素子は、凹凸形状の表面を有する基板と、基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するように形成されたマスク層と、基板の凹部上およびマスク層上に形成された第 1 窒化物系半導体層と、第 1 窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えている。

【 0 0 1 5 】

この第 1 の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、凹凸形状の表面を有する基板と、基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するように形成されたマスク層とを設けることによって、マスク層をマスクとして、基板の凹部上およびマスク層上に容易に低転位密度の第 1 窒化物系半導体層を形成することができる。そして、その低転位密度の第 1 窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させれば、容易に良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。また、基板の表面を凹凸形状に形成することによっ

て、凹凸形状を形成するために基板の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。さらに、この第1の局面では、基板上の1回の成長で第1窒化物系半導体層を形成することができる。その結果、量産性に優れた窒化物系半導体素子を得ることができる。

## 【0016】

上記第1の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、基板は、サファイア基板、スピネル基板、Si基板、SiC基板、GaN基板、GaAs基板、GaP基板、InP基板および水晶基板からなるグループより選択される1つの基板を含む。また、上記の場合、基板の凹部と第1窒化物系半導体層との界面に形成されたバッファ層をさらに備えるのが好ましい。このように構成すれば、バッファ層上により低転位密度の第1窒化物系半導体層を形成することができる。

## 【0017】

この発明の第2の局面による窒化物系半導体素子は、基板上に形成され、凹凸形状の表面を有する窒化物系半導体からなる下地層と、下地層の凹凸形状の凸部上のみ contacts するように形成されたマスク層と、下地層の凹部上およびマスク層上に形成された第1窒化物系半導体層と、第1窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えている。

## 【0018】

この第2の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、凹凸形状の表面を有する下地層と、下地層の凹凸形状の凸部上のみ contacts するように形成されたマスク層とを設けることによって、マスク層をマスクとして、下地層の凹部上およびマスク層上に容易に低転位密度の第1窒化物系半導体層を形成することができる。そして、その低転位密度の第1窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させれば、容易に良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。また、窒化物系半導体からなる下地層の表面を凹凸形状に形成することによって、凹凸形状を形成するために窒化物系半導体からなる下地層の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、凹凸形状

を形成するためのエッチング時間を減少させることができ、その結果、量産性に優れた窒化物系半導体素子を得ることができる。

## 【 0 0 1 9 】

上記第2の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、基板と下地層との間に形成されたバッファ層をさらに備える。このように構成すれば、バッファ層上に容易に低転位密度の窒化物系半導体からなる下地層を形成することができる。上記の場合、好ましくは、基板は、サファイア基板、スピネル基板、S i 基板、S i C 基板、G a A s 基板、G a P 基板、I n P 基板および水晶基板からなるグループより選択される1つの基板を含む。

## 【 0 0 2 0 】

この発明の第3の局面による窒化物系半導体の形成方法は、基板の表面に凹凸形状を形成する工程と、基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するように、マスク層を形成する工程と、マスク層をマスクとして、基板の凹部上およびマスク層上に第1窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

## 【 0 0 2 1 】

この第3の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、基板の表面に凹凸形状を形成するとともに、基板の凹凸形状の凸部上のみに接触するようにマスク層を形成することによって、マスク層をマスクとして、第1窒化物系半導体層を成長させれば、基板の凹部上およびマスク層上に容易に低転位密度の第1窒化物系半導体層を形成することができる。また、基板の表面に凹凸形状を形成することによって、凹凸形状を形成するために基板の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。さらに、この第3の局面では、基板上の1回の成長で第1窒化物系半導体層を形成することができる。その結果、量産性に優れた窒化物系半導体の製造方法を得ることができる。

## 【 0 0 2 2 】

上記第3の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、第1窒化物系半導体層を成長させる工程に先立って、基板の凹部上にバッファ層を形成する工程をさらに備える。このように構成すれば、バッファ層上により低転位

密度の第1窒化物系半導体層を形成することができる。

【0023】

この発明の第4の局面による窒化物系半導体の形成方法は、基板上に窒化物系半導体からなる下地層を形成する工程と、下地層の表面に凹凸形状を形成する工程と、下地層の凹凸形状の凸部上のみ contacts するように、マスク層を形成する工程と、マスク層をマスクとして、下地層の凹部上およびマスク層上に第1窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

【0024】

この第4の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、基板上の窒化物系半導体からなる下地層の表面に凹凸形状を形成するとともに、下地層の凹凸形状の凸部上のみ contacts するようにマスク層を形成することによって、マスク層をマスクとして、第1窒化物系半導体層を成長させれば、下地層の凹部上およびマスク層上に容易に低転位密度の第1窒化物系半導体層を形成することができる。また、窒化物系半導体からなる下地層の表面に凹凸形状を形成することによって、凹凸形状を形成するために下地層の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができ、その結果、量産性に優れた窒化物系半導体の製造方法を提供することができる。

【0025】

上記第4の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、窒化物系半導体からなる下地層を形成する工程に先だって、基板上にバッファ層を形成する工程をさらに備える。このように構成すれば、バッファ層上に容易に低転位密度の窒化物系半導体からなる下地層を形成することができる。

【0026】

上記の場合、好ましくは、第1窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える。このように構成すれば、低転位密度の第1窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させることができるので、容易に良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を形成することができる。

【 0 0 2 7 】

## 【発明の実施形態】

以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて説明する。

【 0 0 2 8 】

## (第 1 実施形態)

図 1 ～ 図 6 は、本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 1 ～ 図 6 を参照して、第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法について説明する。

【 0 0 2 9 】

まず、図 1 に示すように、サファイア (0 0 0 1) 面基板 1 (以下、「サファイア基板 1」という) 上に、約  $0.5 \mu\text{m}$  の膜厚を有するストライプ状の  $\text{SiO}_2$  からなるマスク層 2 を形成する。マスク層 2 のストライプパターンは、マスク層 2 の幅が約  $5 \mu\text{m}$  で、隣接するマスク層 2 間の間隔 (マスク開口部の幅) が約  $2 \mu\text{m}$  となるように、約  $7 \mu\text{m}$  の周期で形成する。また、ストライプ状のマスク層 2 は、サファイア基板 1 の  $[1-100]$  方向と平行な方向に形成する。なお、サファイア基板 1 が、本発明の「基板」の一例である。

【 0 0 3 0 】

このマスク層 2 をマスクとして、RIE (Reactive Ion Etching) 法などを用いて、サファイア基板 1 の表面を約  $1 \mu\text{m}$  の厚み分だけエッチングする。これにより、図 2 に示すように、サファイア基板 1 の表面に凹凸形状を形成する。凹凸の形状はエッチング条件により異なり、凹部の上部の幅より凹部の底部の幅の方が広くなることもあれば、狭くなることもある。以下では、サファイア基板 1 のエッチングされた凹部の側面が、サファイア基板 1 の表面に対してほぼ垂直な形状になる場合を示す。また、サファイア基板 1 の凹凸形状は、約  $1 \mu\text{m}$  の高さと同約  $2 \mu\text{m}$  のテラス幅 (サファイア基板 1 の凹部の底面の幅) とを有するとともに、サファイア基板 1 の  $[1-100]$  方向と平行な方向に形成される。

【 0 0 3 1 】

次に、図 3 に示すように、MOVPE 法 (Metal Organic Va

por Phase Epitaxy:有機金属気相成長法)などの結晶成長法を用いて、サファイア基板1の凹部の底面のほぼ全面と接触するように、約15nmの膜厚を有するGaNからなる低温バッファ層3を成長させる。この場合、SiO<sub>2</sub>からなるマスク層2上には、低温バッファ層3は形成されにくい。あるいは、この場合、凹部の底面だけでなく、凹部の側面に低温バッファ層3が形成されていてもよい。また、凹部の底部の全面に低温バッファ層3が形成されている必要はなく、凹部の底部の一部に低温バッファ層3が形成されていてもよい。なお、この低温バッファ層3が、本発明の「バッファ層」の一例である。

#### 【0032】

次に、GaNからなる低温バッファ層3に、アンドープGaN層4を成長させる。この場合、低温バッファ層3およびアンドープGaN層4の成長は、連続的に行われる。初期段階では、アンドープGaN層4は、低温バッファ層3上に、縦方向（上方向）に成長する。加えて、凹部の側面に低温バッファ層3が形成されている場合には、側面の低温バッファ層3から横方向にアンドープGaN層4が成長する。さらに、アンドープGaN層4の成長を続けると、図4に示すように、側面にファセットを有するアンドープGaN層4が、凹部の上部に形成される。なお、このアンドープGaN層4が、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

#### 【0033】

そして、図4に示す状態からさらにアンドープGaN層4の成長が進むと、アンドープGaN層4は、図5に示すように、マスク層2上を横方向に成長する。そして、マスク層2上を横方向成長したアンドープGaN層4が合体して、連続的なアンドープGaN層4が形成される。これにより、図6に示すように、表面が平坦化された約5μmの膜厚を有するアンドープGaN層4が形成される。

#### 【0034】

第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、サファイア基板1の凹部からアンドープGaN層4を成長させることによって、凹部の側面の低温バッファ層3から横方向に成長する際や、マスク層2上を横方向に成長する際に、アンドープGaN層4の転位は、アンドープGaN層4の(0001

）面内方向に折れ曲がる。これにより、表面付近の転位が低減された低転位のアンドープGaN層4を形成することができる。

#### 【0035】

また、第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、サファイア基板1の表面に凹凸形状を形成することによって、マスク層2をマスクとして、サファイア基板1の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、図30に示した従来の凹凸形状を形成するためのプロセスに比べて、サファイア基板1に凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。その結果、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

#### 【0036】

また、第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、サファイア基板1の凹部に形成されたGaNからなる低温バッファ層3の成長と、アンドープGaN層4の選択成長とは、連続的に行われる。これにより、1回の成長工程で、低転位のアンドープGaN層4を形成することができる。この点でも、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

#### 【0037】

また、第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、サファイア基板1上に設けた低温バッファ層3上に、アンドープGaN層4を成長させることによって、サファイア基板1上に直接アンドープGaN層4を成長させる場合に比べて、より低転位のアンドープGaN層4を成長させることができる。

#### 【0038】

図7は、上記した第1実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。次に、図7を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。

#### 【0039】

第1実施形態の半導体レーザ素子の構造としては、図6に示した第1実施形態のアンドープGaN層4上に、図7に示すように、約4 $\mu$ mの膜厚を有するn型GaNからなるn型コンタクト層5が形成されている。n型コンタクト層5上に

は、約  $0.1\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する  $\text{n}$  型  $\text{AlGaInN}$  からなるクラック防止層 6、約  $0.45\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する  $\text{n}$  型  $\text{AlGaN}$  からなる  $\text{n}$  型第 2 クラッド層 7、約  $50\ \text{nm}$  (約  $0.05\ \mu\text{m}$ ) の膜厚を有する  $\text{n}$  型  $\text{GaN}$  からなる  $\text{n}$  型第 1 クラッド層 8、および、 $\text{GaInN}$  からなる多重量子井戸 (MQW) 発光層 9 が順次形成されている。この MQW 発光層 9 は、約  $4\ \text{nm}$  の厚みを有する 5 つのアンダーブ  $\text{GaN}$  障壁層と、約  $4\ \text{nm}$  の厚みを有する 4 つの圧縮歪みのアンダーブ  $\text{GaInN}$  井戸層とが交互に積層された構造を有する。

## 【0040】

MQW 発光層 9 上には、約  $40\ \text{nm}$  (約  $0.04\ \mu\text{m}$ ) の膜厚を有する  $\text{p}$  型  $\text{GaN}$  からなる  $\text{p}$  型第 1 クラッド層 10 が形成されている。 $\text{p}$  型第 1 クラッド層 10 上には、約  $0.45\ \mu\text{m}$  の高さを有するメサ形状 (台形状) の  $\text{p}$  型  $\text{AlGaN}$  からなる  $\text{p}$  型第 2 クラッド層 11 が形成されている。また、 $\text{p}$  型第 1 クラッド層 10 上の、 $\text{p}$  型第 2 クラッド層 11 が形成されている領域以外の領域と、メサ形状の  $\text{p}$  型第 2 クラッド層 11 の側面とを覆うとともに、 $\text{p}$  型第 2 クラッド層 11 の上面を露出させるように、約  $0.2\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する  $\text{n}$  型  $\text{GaN}$  からなる電流阻止層 12 が形成されている。電流阻止層 12 上には、露出された  $\text{p}$  型第 2 クラッド層 11 の上面と接触するように、約  $3\ \mu\text{m}$  ~ 約  $5\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する  $\text{p}$  型  $\text{GaN}$  からなる  $\text{p}$  型コンタクト層 13 が形成されている。

## 【0041】

また、 $\text{p}$  型コンタクト層 13 から  $\text{n}$  型コンタクト層 5 までの一部領域が除去されている。その  $\text{n}$  型コンタクト層 5 の露出した表面の一部と、クラック防止層 6、 $\text{n}$  型第 2 クラッド層 7、 $\text{n}$  型第 1 クラッド層 8、MQW 発光層 9、 $\text{p}$  型第 1 クラッド層 10、電流阻止層 12 および  $\text{p}$  型コンタクト層 13 の露出した側面とを覆うように、 $\text{SiO}_2$  または  $\text{SiN}$  などの絶縁膜からなる保護膜 14 が形成されている。

## 【0042】

また、 $\text{p}$  型コンタクト層 13 の上面上には、 $\text{p}$  型電極 15 が形成されるとともに、一部領域が除去されて露出された  $\text{n}$  型コンタクト層 5 の表面には、 $\text{n}$  型電極 16 が形成されている。



## 【 0 0 4 3 】

なお、n型コンタクト層5、クラック防止層6、n型第2クラッド層7、n型第1クラッド層8、MQW発光層9、p型第1クラッド層10、p型第2クラッド層11、電流阻止層12およびp型コンタクト層13は、本発明の「素子領域を有する窒化物系半導体素子層」の一例である。

## 【 0 0 4 4 】

第1実施形態の半導体レーザ素子では、上記のように、図1～図6に示した第1実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成された、量産性に優れ、かつ、低転位のアンドープGaN層4を下地として、その上に各層5～13を形成することによって、各層5～13において良好な結晶性を実現することができる。その結果、第1実施形態では、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

## 【 0 0 4 5 】

## (第2実施形態)

図8～図13は、本発明の第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第2実施形態では、第1実施形態の絶縁性のサファイア基板1の代わりに、導電性を有するn型のSi(111)面基板21(以下、「Si基板21」という)を用いている。図8～図13を参照して、第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法について説明する。

## 【 0 0 4 6 】

まず、この第2実施形態では、図8に示すように、n型のSi基板21上に、約 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚を有するストライプ状の $\text{SiO}_2$ からなるマスク層22を形成する。マスク層22のストライプパターンは、マスク層22の幅が約 $5\mu\text{m}$ で、隣接するマスク層22間の間隔(マスク開口部の幅)が約 $2\mu\text{m}$ となるように、約 $7\mu\text{m}$ の周期で形成する。また、ストライプ状のマスク層22は、Si基板21の[1-10]方向と平行な方向に形成する。なお、Si基板21が、本発明の「基板」の一例である。

## 【 0 0 4 7 】

このマスク層22をマスクとして、ウェットエッチング法などを用いて、Si

基板 21 の表面を約  $1\ \mu\text{m}$  の厚み分だけエッチングする。これにより、図 9 に示すように、Si 基板 21 の表面に凹凸形状を形成する。凹凸の形状はエッチング条件により異なり、凹部の上部の幅より凹部の底部の幅の方が広くなることもあれば、狭くなることもある。以下では、Si 基板 21 のエッチングにより形成された凸部がメサ形状（台形状）になる場合を示す。また、Si 基板 21 の凹凸形状は、約  $1\ \mu\text{m}$  の高さを有するとともに、Si 基板 21 の  $[1-10]$  方向と平行な方向に形成される。

## 【0048】

次に、図 10 に示すように、MOVPE 法などの結晶成長法を用いて、Si 基板 21 の凹部の底面のほぼ全面と接触するように、約  $15\ \text{nm}$  の膜厚を有する Si ドープ AlGaIn からなるバッファ層 23 を成長させる。この場合、 $\text{SiO}_2$  からなるマスク層 22 上には、バッファ層 23 は形成されにくい。あるいは、この場合、凹部の底面だけでなく、凹部の側面にバッファ層 23 が形成されていてもよい。また、凹部の底部の全面にバッファ層 23 が形成されている必要はなく、凹部の底部の一部にバッファ層 23 が形成されていてもよい。

## 【0049】

次に、Si ドープ AlGaIn からなるバッファ層 23 に、Si ドープ GaN 層 24 を成長させる。この場合、バッファ層 23 および Si ドープ GaN 層 24 の成長は、連続的に行われる。初期段階では、Si ドープ GaN 層 24 は、バッファ層 23 上を縦方向（上方向）に成長する。加えて、凹部の側面にバッファ層 23 が形成されている場合には、側面のバッファ層 23 から横方向に Si ドープ GaN 層 24 が成長する。さらに、Si ドープ GaN 層 24 の成長を続けると、図 11 に示すように、側面にファセットを有する Si ドープ GaN 層 24 が、凹部の上部に形成される。なお、この Si ドープ GaN 層 24 が、本発明の「第 1 窒化物系半導体層」の一例である。

## 【0050】

そして、図 11 に示す状態からさらに Si ドープ GaN 層 24 の成長が進むと、Si ドープ GaN 層 24 は、図 12 に示すように、マスク層 22 上を横方向に成長する。そして、マスク層 22 上を横方向成長した Si ドープ GaN 層 24 が

合体して、連続的なSiドープGaN層24が形成される。これにより、図13に示すように、表面が平坦化された約5 $\mu$ mの膜厚を有するSiドープGaN層24が形成される。

#### 【0051】

第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、Si基板21の凹部からSiドープGaN層24を成長させることによって、凹部の側面のバッファ層23から横方向に成長する際や、マスク層22上を横方向に成長する際に、SiドープGaN層24の転位は、SiドープGaN層24の(0001)面内方向に折れ曲がる。これにより、表面付近の転位が低減された低転位のSiドープGaN層24を形成することができる。

#### 【0052】

また、第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、第1実施形態と同様、Si基板21の表面に凹凸形状を形成することによって、マスク層22をマスクとして、Si基板21の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、図30に示した従来の凹凸形状を形成するためのプロセスに比べて、Si基板21に凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。その結果、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

#### 【0053】

また、第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、第1実施形態と同様、Si基板21に形成されたSiドープAlGaNからなるバッファ層23の成長と、SiドープGaN層24の選択成長とは、連続的に行われる。これにより、1回の成長工程で、低転位のSiドープGaN層24を形成することができる。この点でも、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

#### 【0054】

また、第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、Si基板21上に設けたバッファ層23上に、SiドープGaN層24を成長させることによって、Si基板21上に直接SiドープGaN層24を成長させる場合に比べて、より低転位のSiドープGaN層24を成長させることができる。

## 【 0 0 5 5 】

図 1 4 は、上記した第 2 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。次に、図 1 4 を参照して、第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。

## 【 0 0 5 6 】

第 2 実施形態の半導体レーザ素子の構造としては、図 1 3 に示した第 2 実施形態の Si ドープ GaN 層 2 4 上に、図 1 4 に示すように、約  $0.1\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する n 型 Al Ga In N からなるクラック防止層 2 5、約  $0.45\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する n 型 Al Ga N からなる n 型第 2 クラッド層 2 6、約  $50\ \text{nm}$  (約  $0.05\ \mu\text{m}$ ) の膜厚を有する n 型 Ga N からなる n 型第 1 クラッド層 2 7、および、Ga In N からなる多重量子井戸 (MQW) 発光層 2 8 が順次形成されている。この MQW 発光層 2 8 は、約  $4\ \text{nm}$  の厚みを有する 5 つのアンダーープ Ga N 障壁層と、約  $4\ \text{nm}$  の厚みを有する 4 つの圧縮歪みのアンダーープ Ga In N 井戸層とが交互に積層された構造を有する。

## 【 0 0 5 7 】

MQW 発光層 2 8 上には、約  $40\ \text{nm}$  (約  $0.04\ \mu\text{m}$ ) の膜厚を有する p 型 Ga N からなる p 型第 1 クラッド層 2 9 が形成されている。p 型第 1 クラッド層 2 9 上には、約  $0.45\ \mu\text{m}$  の高さを有するメサ形状 (台形状) の p 型 Al Ga N からなる p 型第 2 クラッド層 3 0 が形成されている。また、p 型第 1 クラッド層 2 9 上の、p 型第 2 クラッド層 3 0 が形成されている領域以外の領域と、メサ形状の p 型第 2 クラッド層 3 0 の側面とを覆うとともに、p 型第 2 クラッド層 3 0 の上面を露出させるように、約  $0.2\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する n 型 Ga N からなる電流阻止層 3 1 が形成されている。電流阻止層 3 1 上には、露出された p 型第 2 クラッド層 3 0 の上面と接触するように、約  $3\ \mu\text{m}$  ~ 約  $5\ \mu\text{m}$  の膜厚を有する p 型 Ga N からなる p 型コンタクト層 3 2 が形成されている。

## 【 0 0 5 8 】

また、p 型第 2 クラッド層 3 0 のメサ形状を反映した p 型コンタクト層 3 2 の凸部上には、p 型電極 3 3 が形成されている。また、この第 2 実施形態では、第

1 実施形態のサファイア基板 1 と異なり、Si 基板 21 が導電性を有するので、Si 基板 21 の裏面に、n 型電極 34 が形成されている。

## 【0059】

なお、クラック防止層 25、n 型第 2 クラッド層 26、n 型第 1 クラッド層 27、MQW 発光層 28、p 型第 1 クラッド層 29、p 型第 2 クラッド層 30、電流阻止層 31 および p 型コンタクト層 32 は、本発明の「素子領域を有する窒化物系半導体素子層」の一例である。

## 【0060】

第 2 実施形態の半導体レーザ素子では、上記のように、図 8～図 13 に示した第 2 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成された、量産性に優れ、かつ、低転位の Si ドープ GaN 層 24 を下地として、その上に各層 25～32 を形成することによって、各層 25～32 において良好な結晶性を実現することができる。その結果、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

## 【0061】

たとえば、上記第 1 および第 2 実施形態では、基板として、サファイア基板 1 および Si 基板 21 を用いたが、本発明はこれに限らず、スピネル基板、SiC 基板、GaAs 基板、GaP 基板、InP 基板または水晶基板を用いてもよい。

## 【0062】

加えて、上記第 1 および第 2 実施形態では、基板として、GaN 基板を用いてもよい。この場合、必ずしも低温バッファ層 3 を形成する必要はなく、あるいはバッファ層 23 を形成する必要はない。

## 【0063】

## (第 3 実施形態)

図 15～図 20 は、本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第 3 実施形態では、サファイア (0001) 面基板 41 (以下、「サファイア基板 41」という) 上に形成した凹凸形状を有する下地層 43 を用いて選択横方向成長を行う例を示している。以下、図 15～図 20 を参照して、第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法について詳細

に説明する。

【0064】

まず、この第3実施形態では、図15に示すように、MOVPE法などの結晶成長法を用いて、サファイア基板41上に、約15nmの膜厚を有するAlGa<sub>N</sub>からなる低温バッファ層42、および、約2μmの膜厚を有するアンドープGa<sub>N</sub>からなる下地層43を形成する。なお、サファイア基板41が、本発明の「基板」の一例である。また、この低温バッファ層42が、本発明の「バッファ層」の一例である。

【0065】

下地層43上には、約0.5μmの膜厚を有するストライプ状のSiO<sub>2</sub>からなるマスク層44を形成する。マスク層44のストライプパターンは、マスク層44の幅が約5μmで、隣接するマスク層44間の間隔（マスク開口部の幅）が約1μmとなるように、約6μmの周期で形成する。また、ストライプ状のマスク層44は、Ga<sub>N</sub>からなる下地層43の[11-20]方向と平行な方向に形成する。

【0066】

このマスク層44をマスクとして、RIE法などを用いて、下地層43の表面を約1μmの厚み分だけエッチングする。これにより、図16に示すように、下地層43の表面に凹凸形状を形成する。凹凸の形状はエッチング条件により異なり、凹部の上部の幅より凹部の底部の幅の方が広くなることもあれば、狭くなることもある。以下では、下地層43のエッチングにより形成された凸部がメサ形状（台形状）になる場合を示す。また、下地層43の凹凸形状は、約1μmの高さを有するとともに、アンドープGa<sub>N</sub>からなる下地層43の[11-20]方向と平行な方向に形成される。

【0067】

次に、図17に示すように、アンドープGa<sub>N</sub>からなる下地層43の露出された凹部の底面および側面を種結晶として、アンドープGa<sub>N</sub>層45を再成長させる。初期段階では、アンドープGa<sub>N</sub>層45は、図17および図18に示すように、下地層43の凹部の底面から縦方向（上方向）に成長するとともに、下地層

43の側面から横方向にも成長する。なお、このアンドープGaN層45が、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

## 【0068】

そして、図18に示す状態からさらにアンドープGaN層45の成長が進むと、アンドープGaN層45は、図19に示すように、マスク層44上を横方向に成長する。そして、マスク層44上を横方向成長したアンドープGaN層45が合体して、連続的なアンドープGaN層45が形成される。これにより、図20に示すように、表面が平坦化された約5 $\mu$ mの膜厚を有するアンドープGaN層45が形成される。

## 【0069】

第3実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、アンドープGaNからなる下地層43の凹部の底面および側面を種結晶として、アンドープGaN層45を成長させることによって、側面の下地層43から横方向に成長する際や、マスク層44上を横方向に成長する際に、アンドープGaN層45の転位は、アンドープGaN層45の(0001)面内方向に折れ曲がる。これにより、表面付近の転位が低減された低転位のアンドープGaN層45を形成することができる。

## 【0070】

また、第3実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、下地層43の表面に凹凸形状を形成することによって、下地層43の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、図30に示した従来の凹凸形状を形成するためのプロセスに比べて、下地層43に凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。その結果、第1および第2実施形態と同様、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

## 【0071】

また、第3実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、サファイア基板41上に、低温バッファ層42を形成した後、アンドープGaNからなる下地層43を成長させるので、容易の低転位の下地層43を形成することができる。

## 【0072】

図 2 1 は、上記した第 3 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。次に、図 2 1 を参照して、第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。

#### 【 0 0 7 3 】

第 3 実施形態の半導体レーザ素子の構造としては、図 2 0 に示したアンドープ GaN 層 4 5 上に、第 1 実施形態と同様、n 型コンタクト層 5、クラック防止層 6、n 型第 2 クラッド層 7、n 型第 1 クラッド層 8、MQW 発光層 9、p 型第 1 クラッド層 1 0、p 型第 2 クラッド層 1 1、電流阻止層 1 2、p 型コンタクト層 1 3 および保護膜 1 4 が形成されている。なお、各層 5 ～ 1 3 および保護膜 1 4 の組成および膜厚は、第 1 実施形態と同様である。

#### 【 0 0 7 4 】

また、p 型コンタクト層 1 3 の上面上には、p 型電極 1 5 が形成されるとともに、一部領域が除去されて露出された n 型コンタクト層 5 の表面には、n 型電極 1 6 が形成されている。

#### 【 0 0 7 5 】

第 3 実施形態の半導体レーザ素子では、上記のように、図 1 5 ～ 図 2 0 に示した第 3 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成された量産性に優れ、かつ、低転位のアンドープ GaN 層 4 5 を下地として、その上に各層 5 ～ 1 3 を形成することによって、各層 5 ～ 1 3 において良好な結晶性を実現することができる。その結果、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

#### 【 0 0 7 6 】

#### (第 4 実施形態)

図 2 2 ～ 図 2 7 は、本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第 4 実施形態では、第 3 実施形態の絶縁性のサファイア基板 4 1 の代わりに、導電性を有する n 型の SiC ( 0 0 0 1 ) 面基板 5 1 ( 以下、「SiC 基板 5 1」という ) を用いている。図 2 2 ～ 図 2 7 を参照して、第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法について説明する。



## 【0077】

まず、この第4実施形態では、図22に示すように、MOVPE法などの結晶成長法を用いて、n型のSiC基板51上に、約15nmの膜厚を有するSiドープAlGaNからなるバッファ層52、および、約2 $\mu$ mの膜厚を有するSiドープGaNからなる下地層53を形成する。なお、SiC基板51が、本発明の「基板」の一例である。

## 【0078】

下地層53上には、約0.5 $\mu$ mの膜厚を有するストライプ状のSiO<sub>2</sub>からなるマスク層54を形成する。マスク層54のストライプパターンは、マスク層54の幅が約5 $\mu$ mで、隣接するマスク層54間の間隔（マスク開口部の幅）が約1 $\mu$ mとなるように、約6 $\mu$ mの周期で形成する。また、ストライプ状のマスク層54は、SiドープGaNからなる下地層53の[11-20]方向と平行な方向に形成する。

## 【0079】

このマスク層54をマスクとして、RIE法などを用いて、下地層53の表面を約1 $\mu$ mの厚み分だけエッチングする。これにより、図23に示すように、下地層53の表面に凹凸形状を形成する。凹凸の形状はエッチング条件により異なり、凹部の上部の幅より凹部の底部の幅の方が広くなることもあれば、狭くなることもある。以下では、下地層53のエッチング条件により形成された凸部がメサ形状（台形状）になる場合を示す。また、下地層53の凹凸形状は、約1 $\mu$ mの高さを有するとともに、SiドープGaNからなる下地層53の[11-20]方向と平行な方向に形成される。

## 【0080】

次に、図24に示すように、SiドープGaNからなる下地層53の露出された凹部の底面および側面を種結晶として、SiドープGaN層55を再成長させる。初期段階では、SiドープGaN層55は、図24および図25に示すように、下地層53の凹部の底面から縦方向（上方向）に成長するとともに、下地層53の側面からも横方向に成長する。なお、このSiドープGaN層55が、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

## 【 0 0 8 1 】

そして、図 2 5 に示す状態からさらに S i ドープ G a N 層 5 5 の成長が進むと、S i ドープ G a N 層 5 5 は、図 2 6 に示すように、マスク層 5 4 上を横方向に成長する。そして、マスク層 5 4 上を横方向成長した S i ドープ G a N 層 5 5 が合体して、連続的な S i ドープ G a N 層 5 5 が形成される。これにより、図 2 7 に示すように、表面が平坦化された約 5  $\mu$  m の膜厚を有する S i ドープ G a N 層 5 5 が形成される。

## 【 0 0 8 2 】

第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、S i ドープ G a N からなる下地層 5 3 の凹部の底面および側面を種結晶として、S i ドープ G a N 層 5 5 を成長させることによって、側面の下地層 5 3 から横方向に成長する際や、マスク層 5 4 上を横方向に成長する際に、S i ドープ G a N 層 5 5 の転位は、S i ドープ G a N 層 5 5 の ( 0 0 0 1 ) 面内方向に折れ曲がる。これにより、表面付近の転位が低減された低転位の S i ドープ G a N 層 5 5 を形成することができる。

## 【 0 0 8 3 】

また、第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、下地層 5 3 の表面に凹凸形状を形成することによって、下地層 5 3 の表面のみをエッチングするだけでよい。これにより、図 3 0 に示した従来の凹凸形状を形成するためのプロセスに比べて、下地層 5 3 に凹凸形状を形成するためのエッチング時間を減少させることができる。その結果、第 1 ～ 第 3 実施形態と同様、量産性に優れた窒化物系半導体の形成方法を得ることができる。

## 【 0 0 8 4 】

また、第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法では、S i C 基板 5 1 上に、バッファ層 5 2 を形成した後、S i ドープ G a N からなる下地層 5 3 を成長させるので、容易の低転位の下地層 5 3 を形成することができる。

## 【 0 0 8 5 】

図 2 8 は、上記した第 4 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。次に、図 2 8 を参照して、第 4 実施

形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。

## 【 0 0 8 6 】

第 4 実施形態の半導体レーザ素子の構造としては、図 2 7 に示した Si ドープ GaN 層 5 5 上に、第 2 実施形態と同様、クラック防止層 2 5、n 型第 2 クラッド層 2 6、n 型第 1 クラッド層 2 7、MQW 発光層 2 8、p 型第 1 クラッド層 2 9、p 型第 2 クラッド層 3 0、電流阻止層 3 1 および p 型コンタクト層 3 2 が形成されている。なお、各層 2 5 ～ 3 2 の組成および膜厚は、第 2 実施形態と同様である。

## 【 0 0 8 7 】

また、p 型第 2 クラッド層 3 0 のメサ形状を反映した p 型コンタクト層 3 2 の凸部上には、p 型電極 3 3 が形成されている。また、SiC 基板 5 1 が導電性を有するので、SiC 基板 5 1 の裏面に、n 型電極 3 4 が形成されている。

## 【 0 0 8 8 】

第 4 実施形態の半導体レーザ素子では、上記のように、図 2 2 ～ 図 2 7 に示した第 4 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成された、量産性に優れ、かつ、低転位の Si ドープ GaN 層 5 5 を下地として、その上に各層 2 5 ～ 3 2 を形成することによって、各層 2 5 ～ 3 2 において良好な結晶性を実現することができる。その結果、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

## 【 0 0 8 9 】

たとえば、上記第 3 および第 4 実施形態では、基板として、サファイア基板 4 1 および SiC 基板 5 1 を用いたが、本発明はこれに限らず、スピネル基板、GaN 基板、GaAs 基板、GaP 基板、InP 基板および水晶基板などを用いてもよい。

## 【 0 0 9 0 】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味およ

び範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0091】

また、上記第1～第4実施形態では、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53に、エッチングにより凹凸形状を形成する際に、凹部の高さを約1 $\mu$ mに形成したが、本発明はこれに限らず、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53の底面に達しない範囲で、凹部の高さを数nm～数 $\mu$ mの範囲で形成するのが好ましい。

【0092】

また、上記第1～第4実施形態では、ストライプ状のマスク層を、サファイア基板1の[1-100]方向、Si基板21の[1-10]方向、または、下地層43および53のGaNの[11-20]方向に平行に形成したが、本発明はこれに限らず、上記した方向と異なる方向にストライプ状のマスク層を形成してもよい。たとえば、第3および第4実施形態のマスク層44および54を、下地層43および53のGaNの[1-100]方向に平行に形成してもよい。

【0093】

また、上記第1～第4実施形態では、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53の表面の凹凸形状を、サファイア基板1の[1-100]方向、Si基板21の[1-10]方向、または、下地層43および53のGaNの[11-20]方向に平行に形成したが、本発明はこれに限らず、上記した方向と異なる方向に凹凸形状を形成してもよい。たとえば、第3および第4実施形態の下地層43および53の凹凸形状を、下地層43および53のGaNの[1-100]方向に平行に形成してもよい。

【0094】

また、上記第1～第4実施形態では、マスク層およびマスク層の開口部を、ストライプ状に形成したが、本発明はこれに限らず、マスク層を、円形、六角形または三角形などの形状で形成してもよく、また、マスク層の開口部を、円形、六角形または三角形などの形状で形成してもよい。マスク層およびマスク層の開口部を、六角形または三角形に形成する場合、六角形または三角形の各辺の方向は、どの結晶方位と一致するように形成してもよい。

## 【0095】

また、上記第1～第4実施形態では、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53の表面の凹部および凸部をストライプ状に形成したが、本発明はこれに限らず、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53の表面の凹部の形状を、円形、六角形または三角形などの形状で形成してもよく、また、凸部の形状を、円形、六角形または三角形などの形状で形成してもよい。凹部または凸部の形状を、六角形または三角形に形成する場合、六角形または三角形の各辺の方向は、どの結晶方位と一致するように形成してもよい。

## 【0096】

また、上記第1～第4実施形態では、窒化物系半導体を用いて半導体レーザ素子を作製したが、本発明はこれに限らず、発光ダイオード素子またはトランジスタなどの窒化物系半導体を用いる他の素子にも適用可能である。

## 【0097】

また、上記第1～第4実施形態において、窒化物系半導体の結晶構造は、ウルツ鉱型構造であってもよいし、閃亜鉛鉱型構造であってもよい。

## 【0098】

また、上記第1～第4実施形態では、窒化物系半導体各層の結晶成長を、MOVPE法を用いて行ったが、本発明はこれに限らず、HVPE法、または、TMAl、TMGa、TMIn、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>およびCp<sub>2</sub>Mgなどを原料ガスとして用いるガスソースMBE法などを用いて結晶成長を行ってもよい。

## 【0099】

また、第1～第4実施形態において、サファイア基板1、Si基板21、下地層43および53に形成された凹凸形状の凹部の底面の幅を、数百nm～数十μmの範囲で形成するのが好ましい。

## 【0100】

## 【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供することができる。また、量産性に優れ、かつ、低転位密度の窒化物系半導体層を得ることが可能な窒化物系半導体の形成方法を提

供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 4】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 5】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 6】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 7】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。

【図 8】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 9】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 2】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 3】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 4】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。

【図 1 5】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 6】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 7】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 8】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 9】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面

図である。

【図 2 0】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 1】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。

【図 2 2】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 3】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 4】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 5】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 6】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 7】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 8】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した斜視図である。

【図 2 9】



従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 0】

従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 1】

従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 2】

従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 3】

従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

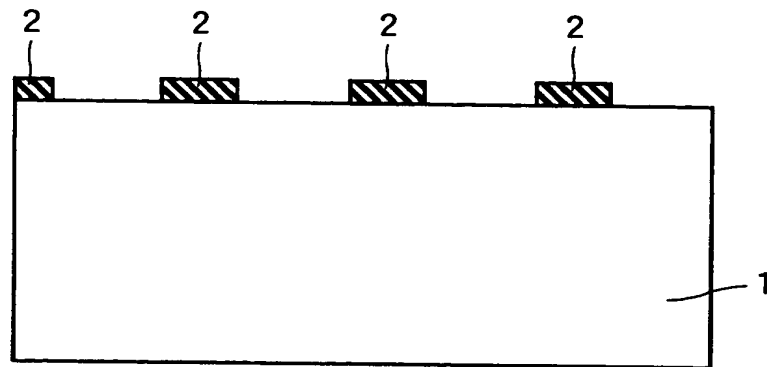
【符号の説明】

- 1、4 1    サファイア基板（基板）
- 3、4 2    低温バッファ層（バッファ層）
- 2、2 2、4 4、5 4    マスク層
- 4、4 5    アンドープ GaN 層（第 1 窒化物系半導体層）
- 5    n 型コンタクト層（窒化物系半導体素子層）
- 6、2 5    クラック防止層（窒化物系半導体素子層）
- 7、2 6    n 型第 2 クラッド層（窒化物系半導体素子層）
- 8、2 7    n 型第 1 クラッド層（窒化物系半導体素子層）
- 9、2 8    MQW 発光層（窒化物系半導体素子層）
- 1 0、2 9    p 型第 1 クラッド層（窒化物系半導体素子層）
- 1 1、3 0    p 型第 2 クラッド層（窒化物系半導体素子層）
- 1 2、3 1    電流阻止層（窒化物系半導体素子層）
- 1 3、3 2    p 型コンタクト層（窒化物系半導体素子層）
- 2 1    Si 基板（基板）
- 2 3、5 2    バッファ層
- 2 4、5 5    Si ドープ GaN 層（第 1 窒化物系半導体層）
- 4 3、5 3    下地層
- 5 1    SiC 基板（基板）

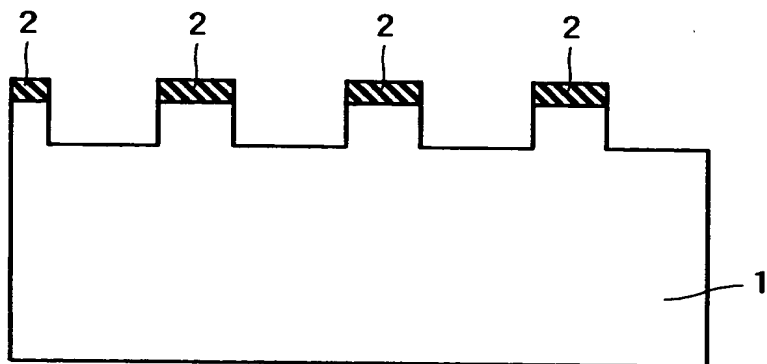
【書類名】

図面

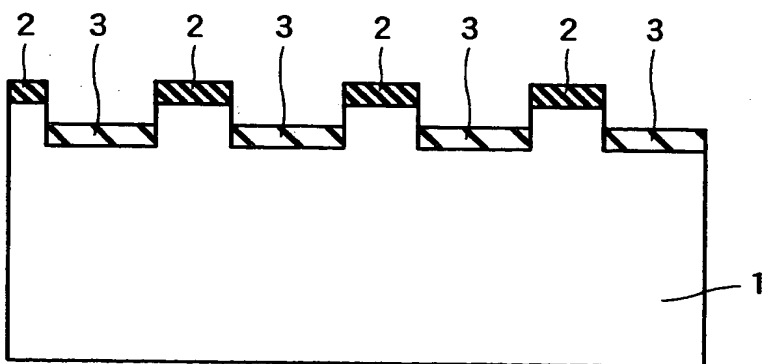
【図 1】



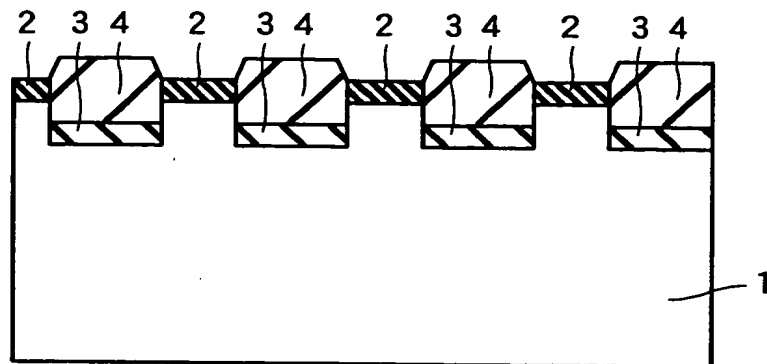
【図 2】



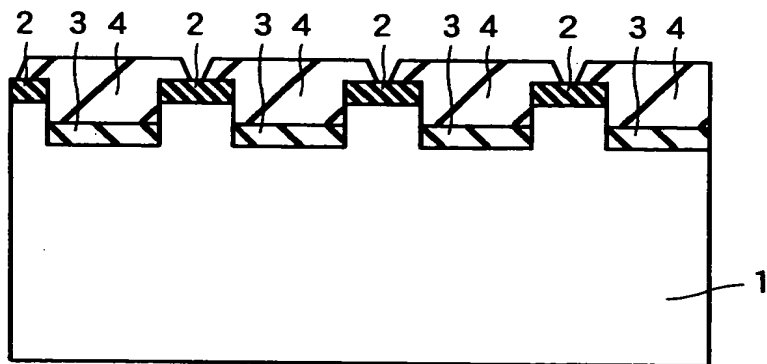
【図 3】



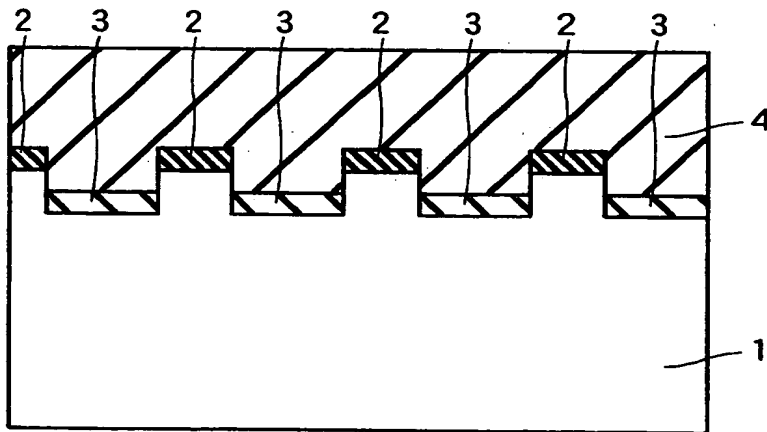
【図 4】



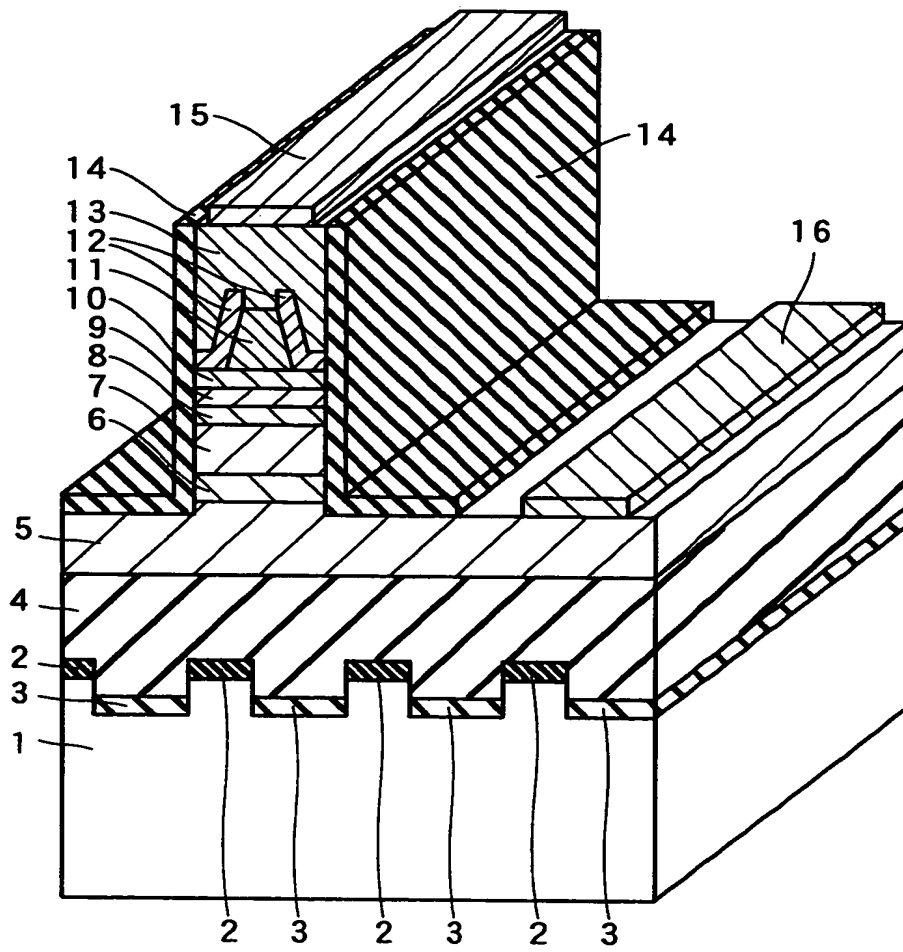
【図 5】



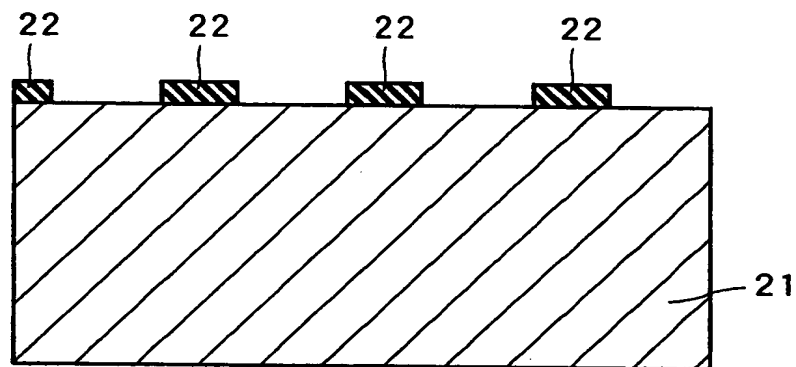
【図 6】



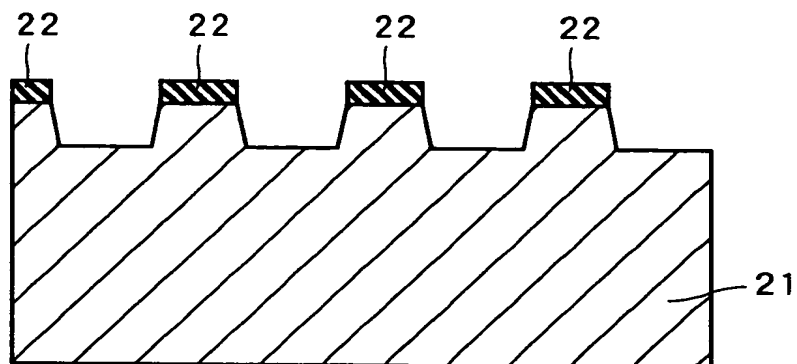
【図 7】



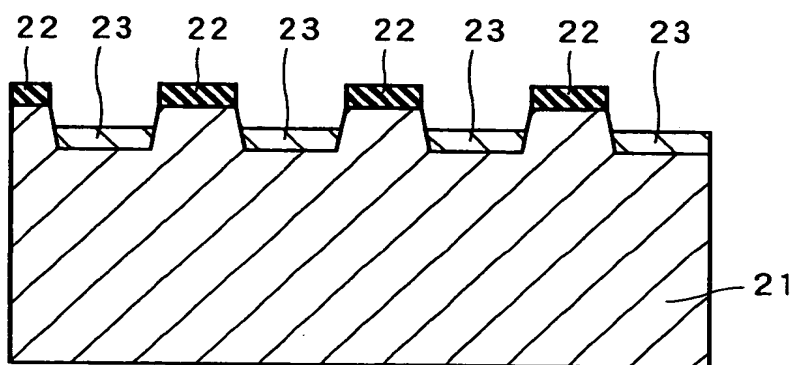
【図 8】



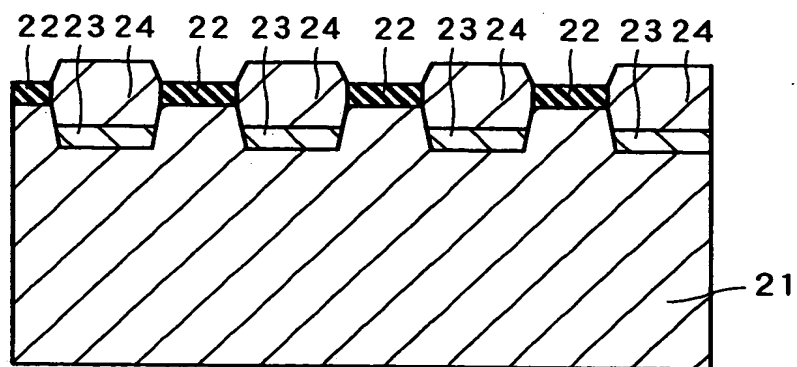
【図 9】



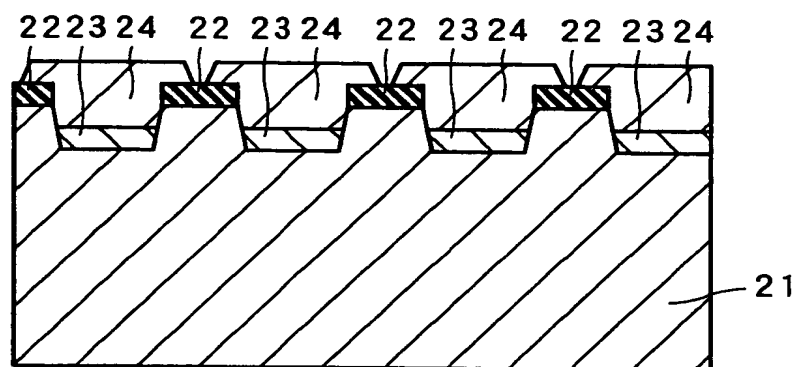
【図 10】



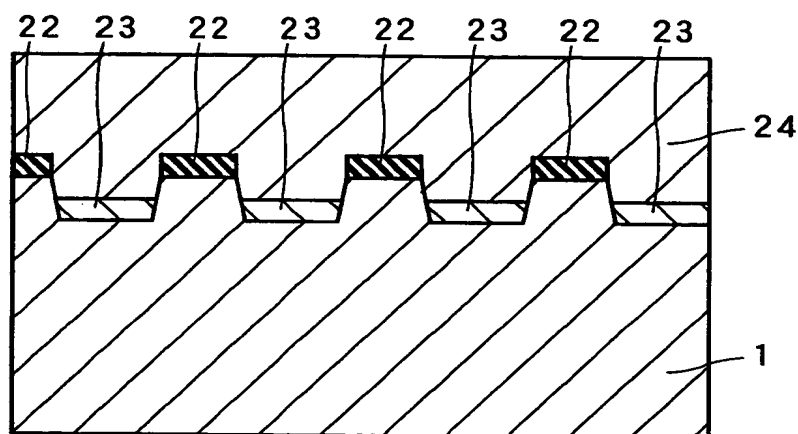
【図 11】



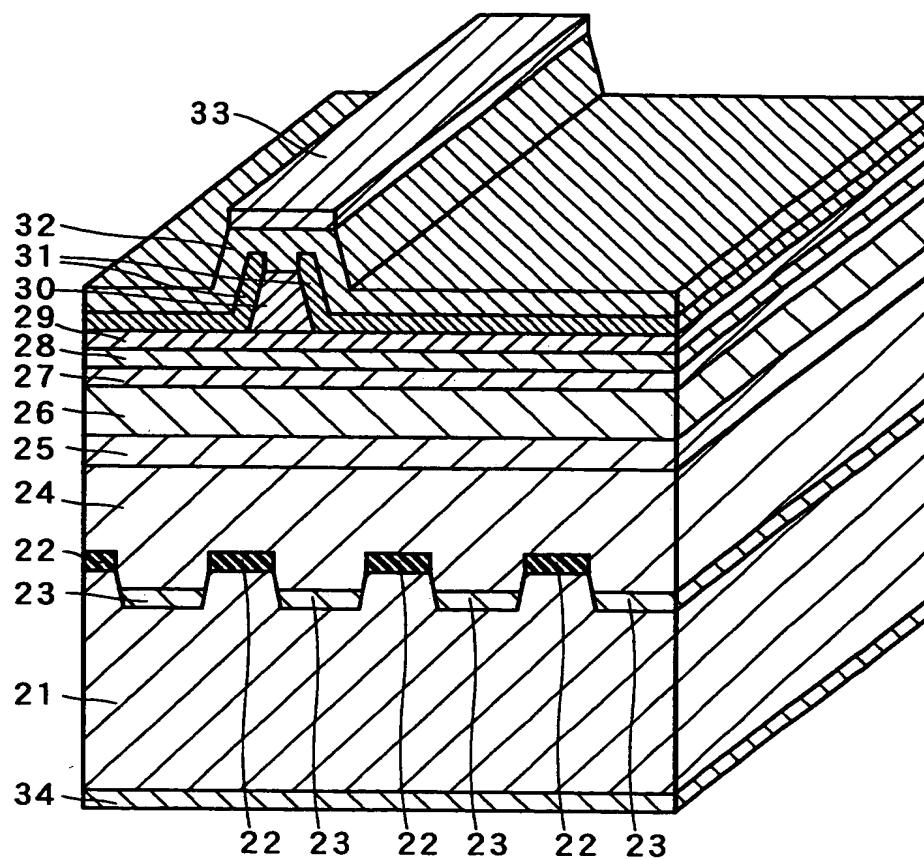
【図 12】



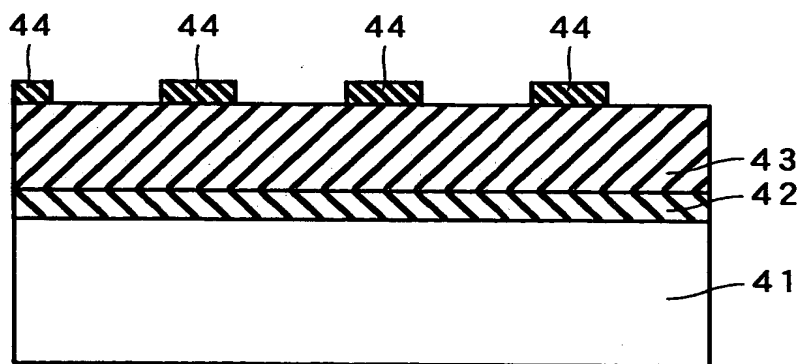
【図 13】



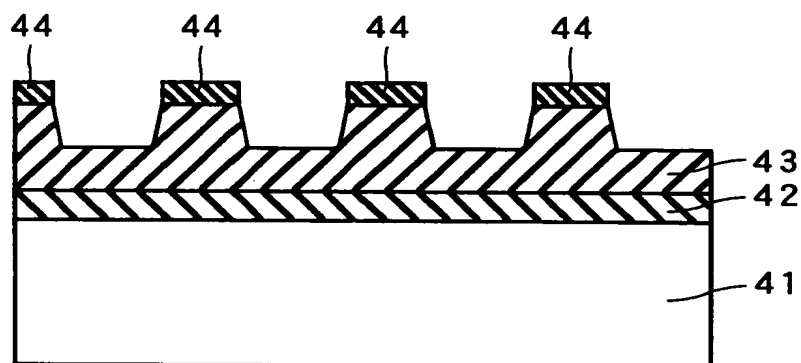
【図 14】



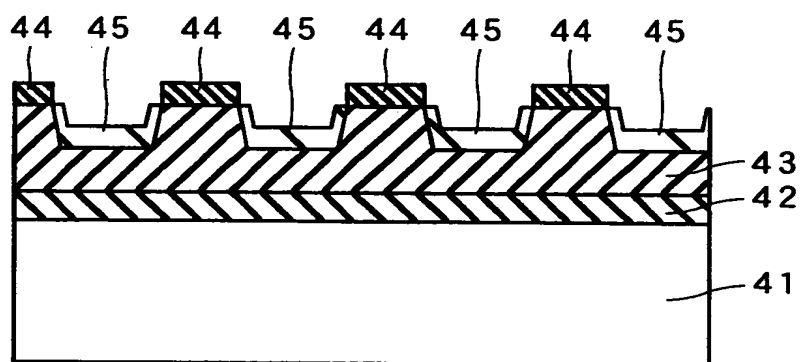
【図 15】



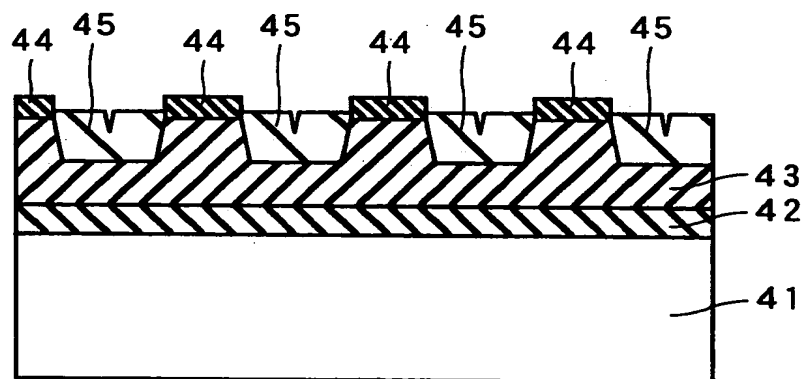
【図16】



【図17】

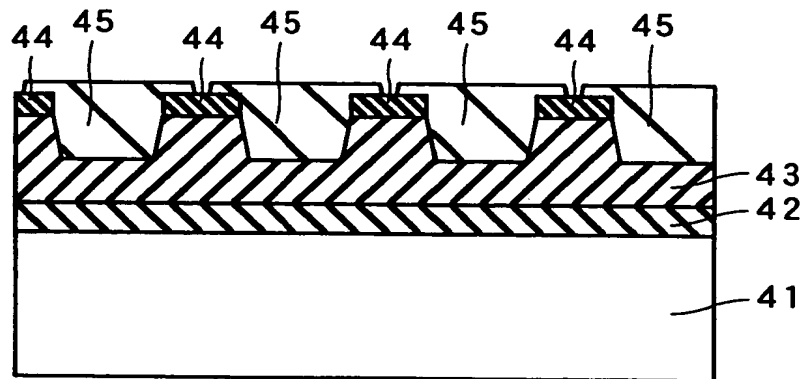


【図18】

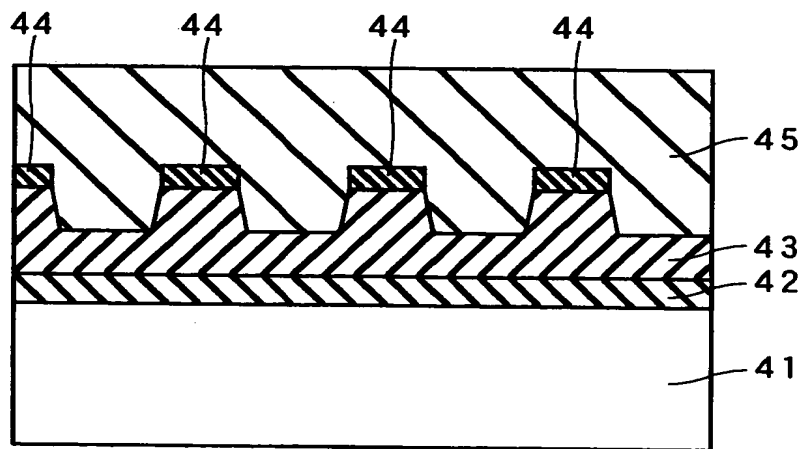




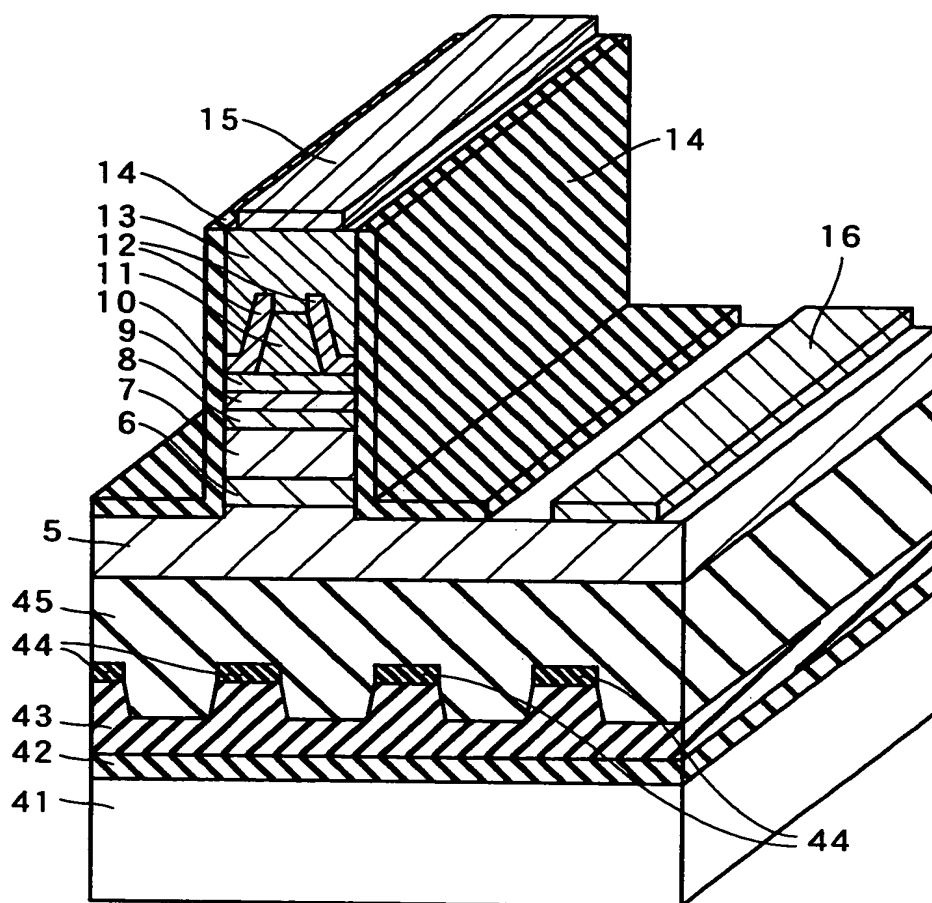
【図 1 9】



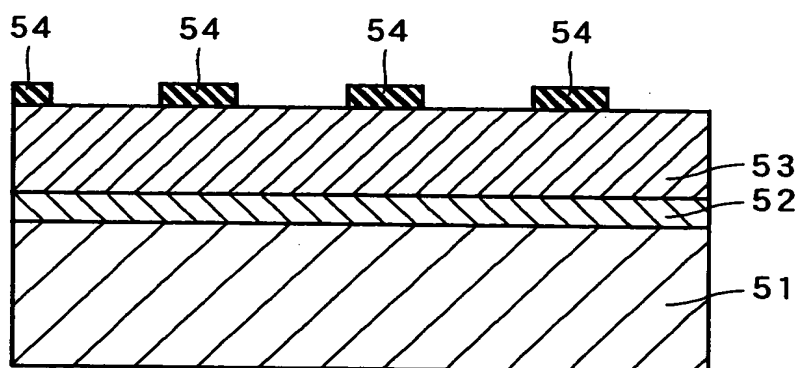
【図 2 0】



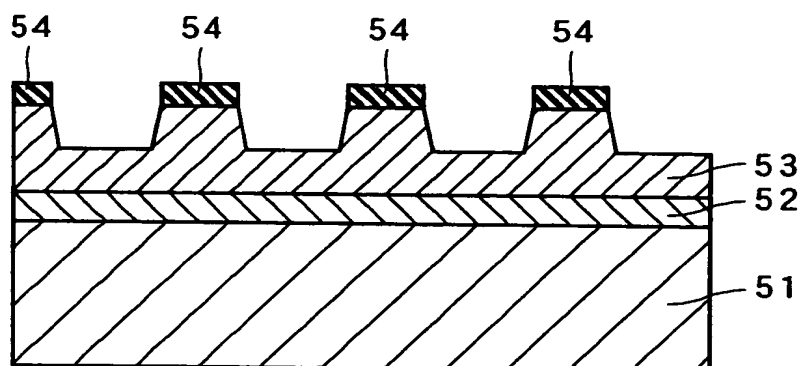
【図 2 1】



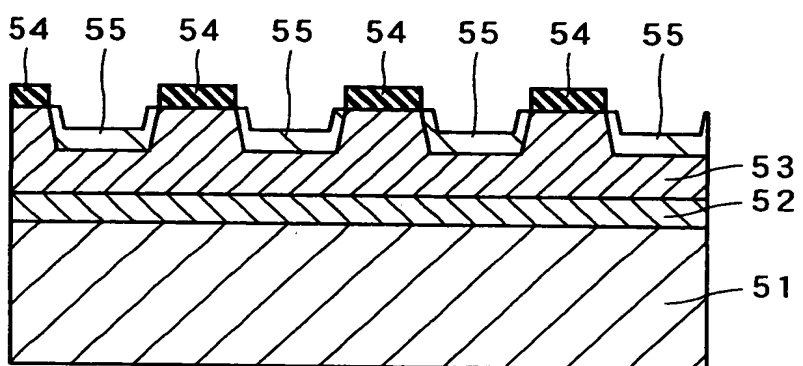
【図 2 2】



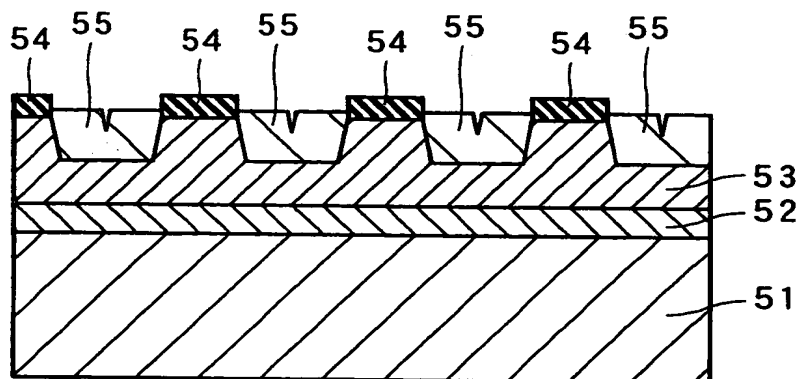
【図 2 3】



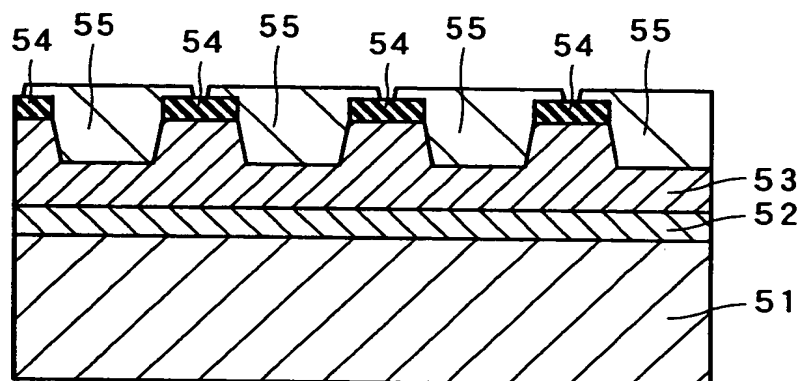
【図 2 4】



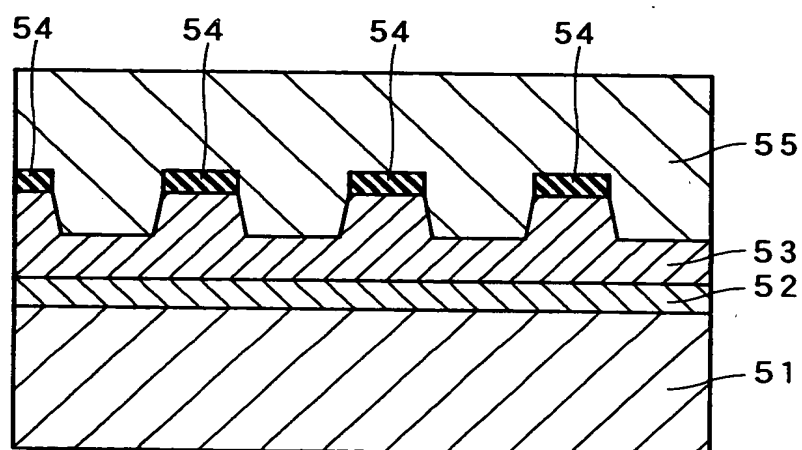
【図 2 5】



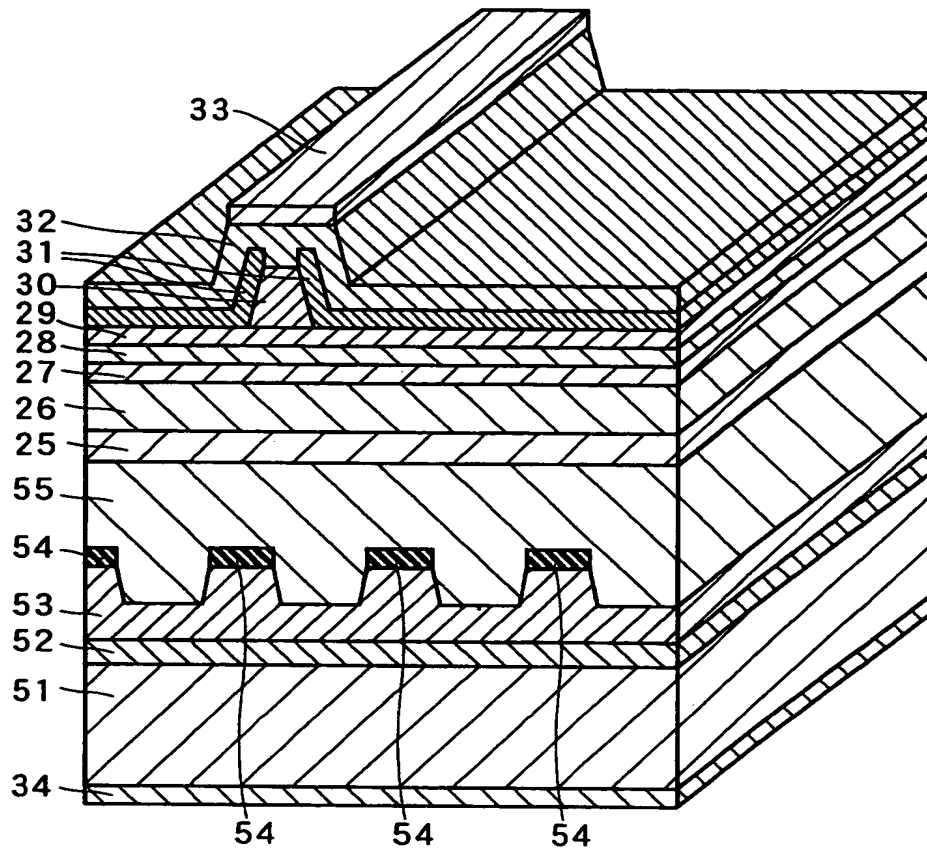
【図 2 6】



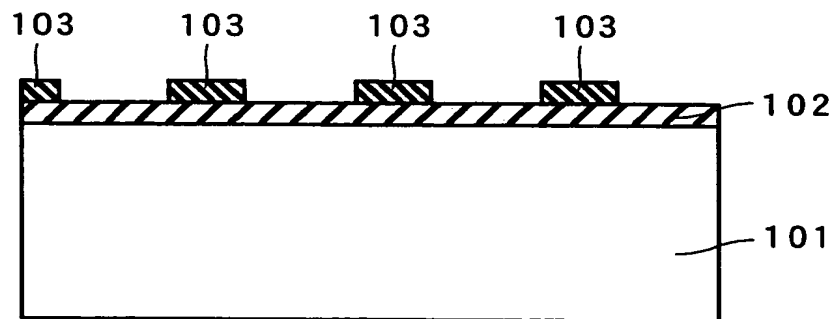
【図 2 7】



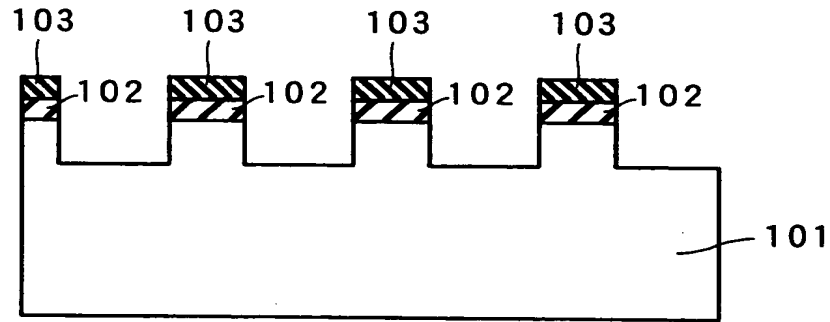
【図 28】



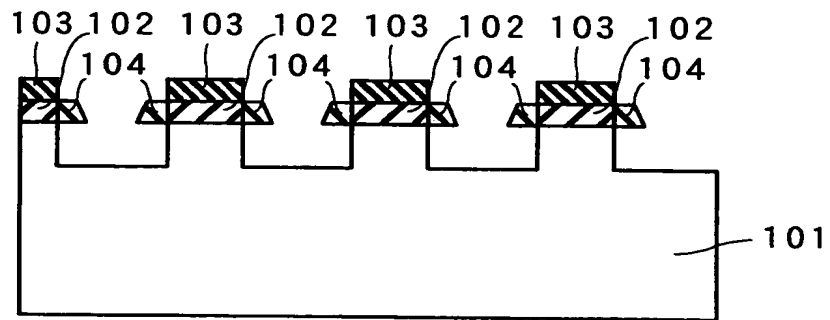
【図 29】



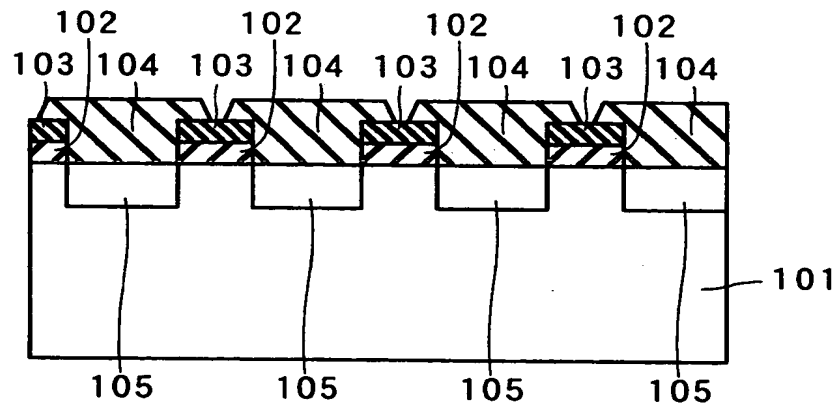
【図 30】



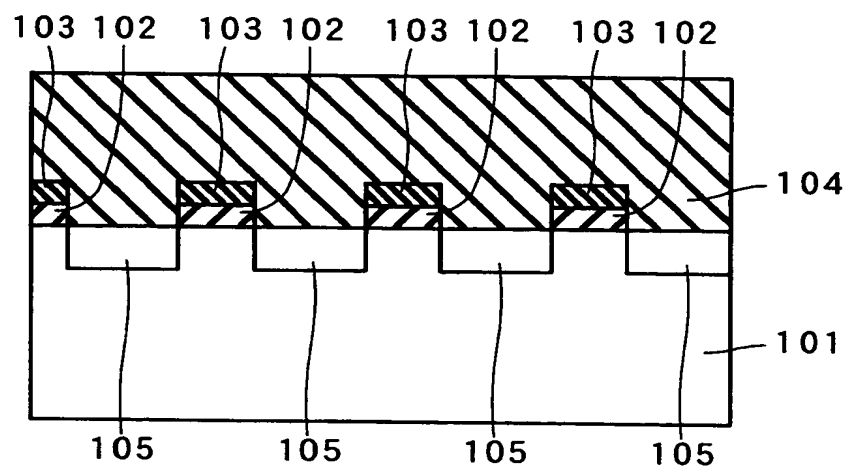
【図 31】



【図 32】



【図 3 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 量産性に優れ、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供する。

【解決手段】 凹凸形状の表面を有するサファイア基板 1 と、サファイア基板 1 の凹凸形状の凸部上だけに接触するように形成されたマスク層 2 と、サファイア基板 1 の凹部上およびマスク層 2 上に形成されたアンドープ GaN 層 4 と、アンドープ GaN 層 4 上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を構成する各層 5 ～ 1 3 とを備える。

【選択図】 図 7



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日	1993年10月20日
[変更理由]	住所変更
住 所	大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
氏 名	三洋電機株式会社